

## 利用透射电子显微镜原位观察辐照过程中铁素体马氏体钢的微观结构演变

郑策<sup>1</sup>, Djamel Kaoumi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>西北工业大学, 西安 710072

<sup>2</sup>美国北卡罗来纳州立大学, Raleigh, NC, USA 27695

Email: [czheng7@qq.com](mailto:czheng7@qq.com)

**摘要:** 离子辐照因其束流通量较高、辐照后材料没有放射性、实验参数可控性高等优点被认为是一种可以模拟中子辐照的安全且高效的实验方法。利用该方法可以大大加快抗辐照材料的研发过程。而离子辐照和透射电子显微镜原位技术的联合运用则可以在辐照过程中跟踪观察材料微观结构的演变,帮助人们更深入地理解材料的抗辐照机理。

和现役的核用奥氏体不锈钢相比,铁素体马氏体钢具有更强的抗辐照肿胀性能,是核聚变反应堆堆体结构部件的主要候选材料之一。本研究借助美国阿贡国家实验室透射电子显微镜与离子辐照联机平台,使用 1MeV 氮离子束在 420-470°C 下对铁素体马氏体 HT9 钢进行离子辐照。所使用的辐照速率为 $\sim 1.07 \times 10^{-3} \text{ dpa} \cdot \text{s}^{-1}$ ,最大辐照强度为  $\sim 20 \text{ dpa}$ 。在辐照的过程中,利用 Hitachi 9000 NAR 电镜和 Gatan 高速 CCD 相机跟踪拍摄了 HT9 钢中线位错和位错环随辐照剂量的演变过程(如图 1 所示),从而揭示了非原位辐照实验中在辐照的最终态下观察到的位错网格结构是如何产生的。此外,本研究创新性地 will ChemiSTEM 化学成分分析技术引入到透射电镜原位观察实验中,成功揭示了 HT9 钢中第二相(如: G-phase 相和 carbides 相)在晶界上的成核过程(如图 2 所示)。本摘要所提及的研究方法和研究结果在文献 [1-2] 中有详细的描述。

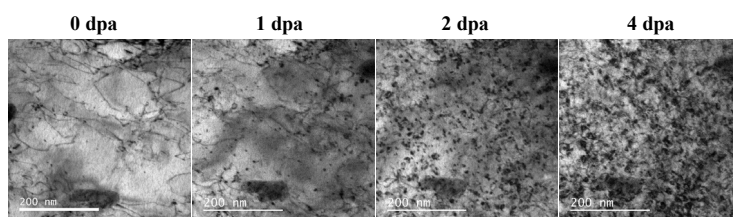


图1 透射电子显微镜原位观察揭示了离子辐照过程中线位错和位错环在铁素体马氏体钢中的演变过程。

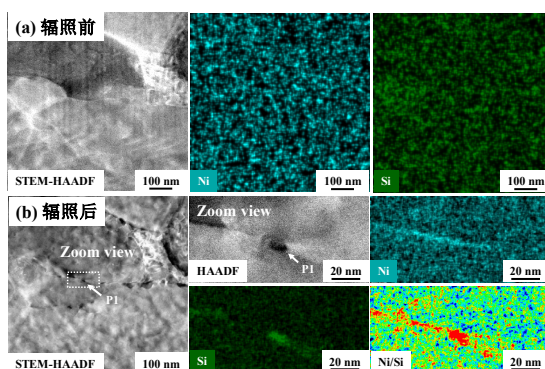


图2 透射电子显微镜原位观察揭示了离子辐照过程中第二相在铁素体马氏体钢的晶界上析出。

**关键词:** In-situ TEM; 铁素体马氏体钢; Radiation-induced dislocation loops; Radiation-induced precipitation.

**参考文献:**

[1] Ce. Zheng *et al.*, Correlation of in-situ transmission electron microscopy and microchemistry analysis of radiation-induced precipitation and segregation in ion irradiated advanced ferritic/martensitic steels, *Scripta Materialia*, 2019, 162, 460-464.

[2] Ce. Zheng *et al.*, Effect of dose on irradiation-induced loop density and Burgers vector in ion-irradiated ferritic/martensitic steel HT9, *Philosophical Magazine*, 2018, 98, 2440-2456.

**基金项目:** 美国能源部核能国家实验室开放课题 (US DOE NSUF-RTE 17-832 and 17-1073)